

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0376-08

应用粒度成因单元划分高分辨率 层序地层基准面旋回¹

郑庆华^{1,2} 柳益群¹ 张海军³ 李寿武² 朱静明² 马红星²

(1. 西北大学地质学系 西安 710069; 2. 长庆油田采油五厂 西安 710000; 3. 中国地质大学资源学院 武汉 430074)

摘要 在 Goodwin 和 Anderson 于 1985 提出的 PAC 假说基础上, 针对目前基准面旋回级别划分较为混乱的状况, 将基准面旋回赋予了自旋回和异旋回的涵义, 探索性地提出了粒度成因单元的概念和研究方法, 并将其应用到柴窝堡盆地中二叠统芦草沟组高分辨率层序地层的研究中, 建立了该区中二叠统芦草沟组高分辨率层序地层格架, 划分出了 2 个长期基准面旋回 6 个中期粒度成因单元以及和体系域相似的 5 个层段。

关键词 柴窝堡盆地 中二叠统芦草沟组 高分辨率层序地层 粒度成因单元

作者简介 郑庆华 男 1980 年出生 硕士研究生 油气储层地质 E-mail: mw_zhengqinghu@126.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

目前高分辨率层序地层学存在的主要问题为: 层序分级比较乱, 对于基准面旋回级次的划分和识别上还存在着一定的异议, 并导致陆相层序内部组成、结构特征尚需深入分析, 体系域命名十分混乱。在对高分辨率层序地层学和其它分支层序地层学系统研究和思考基础上, 针对目前基准面旋回级别划分较为混乱的状况, 探索性地提出了粒度成因单元的概念和研究方法, 该方法对研究高分辨率层序地层学和其它分支层序地层学理论和应用具有重要意义。

1 层序地层学概况

目前层序地层学主要形成了分别以准层序和成因单元为基本单元的海相层序地层学和陆相高精度层序地层学两大分支^[1-13]。理论上主要形成三大层序地层学派, 即以 Vail 等为代表的经典层序地层学派, 将一个层序视为沉积于一个海平面升降变化期, 并且以最大海泛面为中心, 以不整合面为边界; 以 Galloway 为代表的成因层序地层学, 主张幕式沉积作用, 以最大海泛面来分隔沉积幕; 以 Cross 为代表的高分辨率层序地层学派。前两种学派以准层序为基本单元, 主要应用于海相地层中, 但所选用的界面不同; 后一种学派以成因单元为基本单元, 主要应用于陆相地层中, 但目前国内在高分辨率层序地层学方面仍主要以 Van Wagoner 和 Mitchum 的理论为指导。

2 基准面

早在 1917 年, Barrell 就指出地层层序是基准面穿越地表上升与下降运动过程的地质记录, 但地质学家对基准面概念的理解不尽相同, 使得基准面的解释和应用存在争论, 在应用中尤其比较模糊。

因为沉积旋回是沉积作用随着基准面周期性变化的时间过程中所形成的一系列具有一定滞后性的、旋回性的、能够观察到的沉积物组合特征, 它应该是各种地质因素综合作用的, 并最终保存下来的结果和现象, 较难直接反映基准面的周期性变化。

目前总体来说基准面有两个不同的概念, 即地层基准面学派和地貌基准面学派^[7-18]。在理解这两种基准面变化时, 一定要注意 Cross 等认为的地层基准面旋回是各种地质因素综合作用的过程, 并不是一种结果。而 Jervey (1998) 认为的地貌基准面旋回才是各种地质因素综合作用的结果。

3 粒度成因单元

3.1 粒度成因单元的概念

自旋回和异旋回是陆相层序地层学研究的关键。笔者通过较长期的调研, 认为人们对自旋回和异旋回的认识存在内涵和级别上模糊的问题, 从根本上导致目前基准面旋回级别划分较为混乱的状况。本文将自旋回和异旋回赋予基准面旋回的涵义, 即自旋回和

¹ 吐鲁番凹陷北部及柴窝堡凹陷油气勘探前景综合评价项目; 高等学校全国硕士学位论文作者专项资助。

收稿日期: 2007-06-05 收稿修改日期: 2007-09-29

异旋回也可以是基准面旋回内的自旋回和异旋回,首次提出了粒度成因单元概念。

同一级别基准面旋回中起控制作用的基准面旋回可称之为基准面异旋回,否则称之为基准面自旋回。在此基础上,沉积旋回受控于基准面旋回时,称之为沉积异旋回,否则称之为沉积自旋回(表 1)。

表 1 自旋回和异旋回的关系

Table 1 The relationship of autocyclic and allocyclic base-level cycle

基准面旋回中的自旋回与异旋回		沉积旋回中的自旋回与异旋回	
同一级别基准面旋回中起控制作用的基准面旋回	异旋回	受控于基准面旋回	异旋回
同一级别基准面旋回中不起控制作用的基准面旋回	自旋回	不受控于基准面旋回	自旋回
同一级别基准面旋回中起控制作用的基准面旋回	自旋回	受控于基准面旋回	异旋回
同一级别基准面旋回中不起控制作用的基准面旋回	自旋回	不受控于基准面旋回	自旋回

Goodwin 和 Anderson 于 1985 年根据前人研究成果以及他们的成果提出了一个划时代的间断(Punctuated)一加积(Agradational)一旋回(Cycle)机制认识,简称为 PAC 旋回。认为 PAC 序列是一种在地层记录中普遍存在的单一过程所代表的周期性发生的事件产物。PAC 假说对传统的地层逐渐堆积作用模式提出了另外一种解释,即“幕式堆积作用模式”,该模式实质上认为自旋回是叠置在异旋回之上的^[19]。鉴于此,本文将基准面旋回中同一级别的异旋回和由其控制的自旋回作为一个整体,即一个该级别的粒度成因单元,从而使基准面旋回划分更具有等时性。

在一个理想的状态下(主要是基准面旋回与其所控制的沉积旋回具有一致性)一个高一级别的基准面旋回的上升过程中所对应并控制的次一级别的基准面旋回(实践上也可能是次一级别的基准面旋回组合,也可能是反映次一级基准面变化控制的向上变深的粒度成因单元或粒度成因单元组合,但这个粒度成因单元常被我们与基准面旋回混淆)的上升过程实际上体现了高一级别的基准面上升变化控制,而该次一级别的基准面旋回下降过程并没有反映高一级别的基准面上升过程。这个次一级别的基准面旋回过程实质上是反映了一个与之对应级别的基准面上升的旋回过程,本文将之称为一个单一的反映该次一级别基准面上升的粒度成因单元,它受控于高一级别基准面的上升。

同样,在一个高一级别的基准面旋回的下降过程中,它所对应并控制的次一级别的基准面旋回与之类

似,不再赘述。

粒度成因单元是能够反映并受控于高一级别基准面旋回上升或下降的、一定级别的基准面旋回或旋回组合的单一基准面上升或下降的基准面变化过程。它本身反映了次一级别基准面变化与高一级别基准面变化之间固有的关系,鉴于基准面变化通常是通过沉积旋回反映的,并与粒度关系密切,将该概念定名为粒度成因单元,但绝不是通过粒度划分基准面旋回。其中同一级别的基准面变化是相对的,不同级别的基准面变化是绝对的,即次一级别基准面变化相对于高一级别基准面变化是相对的,高一级别基准面变化相对于次一级别基准面变化是绝对的,体现了幕式变化的特征。如基准面的上升、下降过程一般是幕式的,在单个幕式运动中,一般认为基准面(如海、湖平面等)的变化是相对的。

3.2 粒度成因单元的研究方法

3.2.1 粒度成因单元的界面识别

粒度成因单元的界面识别,关键是识别一组同一级别的基准面旋回中,高一级别的基准面变化的边界,在理想状态下粒度成因单元识别标志如下(图 1)。

① 向上变深的粒度成因单元界面识别

在高一级别的基准面上升阶段初期,次一级别基准面上升通常不是渐变的,往往表现为突然的基准面上升,使得底部次一级基准面旋回表现为基准面向上变浅的不对称旋回,但它所反映的粒度成因单元是向上变深的。

④ 向上变浅的粒度成因单元界面识别

在高一级别的基准面下降阶段初期,次一级别基准面下降通常不是渐变的,往往表现为突然的基准面下降,使得底部次一级基准面旋回表现为基准面向上变深的不对称旋回,但它反映的粒度成因单元是向上变浅的。

但在实际长期基准面旋回的不同阶段,基准面旋回的保存程度是不一样的,因此粒度成因单元的识别标志也是不一样的。

3.2.2 粒度成因单元的级别划分

郑荣才等认为一个长期基准面旋回相当于一个层序,而中期基准面旋回相当于体系域^[21]。并应用高分辨率层序地层学原理在陆相地层中,以便于理解的地层过程一响应沉积动力学为理论基础,提出了中期基准面旋回的标准层序模式^[21]。

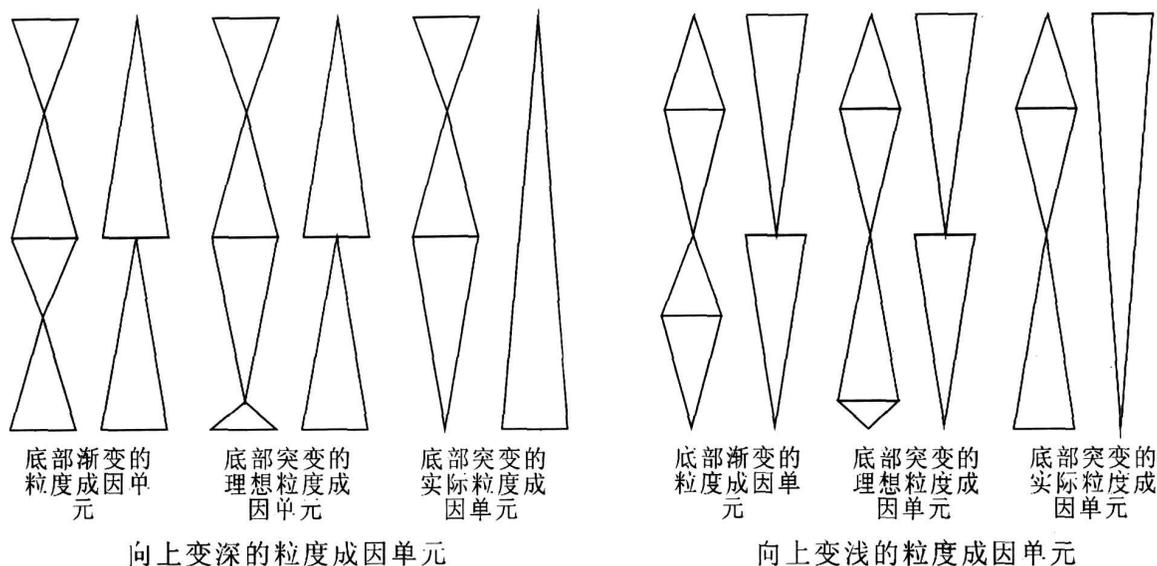


图 1 理想状态下粒度成因单元界面识别

Fig 1 Identification of boundary surface grain-size genetic unit under ideal condition

本文认为郑荣才等^[21]所建立的中期基准面旋回标准模式本质上可能为水动力沉积学模式,可以适用于地层沉积的全过程。根据 Posamentier 的观点,即层序地层学的概念与沉积规模大小和时间长短无关^[22],本文将中期基准面旋回的标准层序模式看成是理想状态下完全对称的中期基准面旋回的标准层序模式,对其进行了细分和修改,并应用到理想状态下完全对称的长期基准面旋回中,建立了一个长期基准面旋回内以成因单元(较小的次一级别的基准面旋回)为基本成因单元的理想概念模式。按照郑荣才等^[21]所依据的地层过程—响应沉积动力学理论,从下至上建立了与理想状态下完全对称的中期基准面旋回可对比的层序界面,将长期基准面旋回划分为 10 段,每段代表一个中期粒度成因单元(图 2 表 2)。但在实际应用中,考虑到可行性,常将几个中期粒度成因单元组合成一个。

在长期基准面旋回上升阶段: A 段分为 A_T 和 A_L 两部分, A_T 处于极低可容空间,基准面上升、下降旋回期,沉积物都不能保存,相当于完全侵蚀面,往往形成容易识别的层序边界,其顶界为基准面上升旋回开始能够保存面,之上发育 A_L 段; A_L 段处于低可容空间,顶界为基准面上升旋回部分开始能够完全保存面(相当于曲流河开始发育面),之上为 B_T 段; B_T 段处于较低可容空间,顶界为基准面下降旋回开始能够部分保存面(相当于河口坝开始发育面),之上发育 B_L 段; B_L 段处于较高可容空间,顶界为基准面下降旋回

开始能够完全保存面(相当于远砂坝开始发育面),之上为 C 段; C 段处于高可容空间,顶面因可容空间太大,主要为保存基准面下降旋回阶段(相当于湖相泥岩开始发育面),该界面往往为基准面突然上升面,之上为 D_T 段; D_T 段处于极高可容空间,顶界为最大湖泛面,主要表现为基准面下降旋回为主(假定相当于凝缩段中心),该段在实际剖面上厚度很小,不便于单独划分,因此本文将其与 C 段合起来,作为一个中期粒度成因单元 C 段。

在长期基准面旋回下降阶段: D_L 段处于极高可容空间,底界为最大湖泛面(假定相当于凝缩段中心),表现为以基准面下降旋回为主,顶界为基准面上升旋回开始较大规模发育面,基准面下降旋回能够完全保存面(相当于湖泥开始消失面),之上为 C'_L 段,该段在实际剖面上厚度很小,不便于单独划分,因此本文将其与 C'_L 段合起来,作为一个中期粒度成因单元 C'_L 段; C'_L 段处于高可容空间,顶界为基准面上升旋回开始大规模发育面,但基准面下降旋回不能够完全保存面(相当于远砂坝开始消失面,本文称之为初始湖降面),之上为 B'_L 段; B'_L 段处于较高可容空间,其顶界为基准面上升旋回能够完全保存面,而基准面下降旋回不能保存面(相当于河口坝开始消失面),之上为 B'_T 段; B'_T 段处于较低可容空间,顶界为基准面上升旋回不能完全保存面(相当于曲流河开始消失面),之上为 A'_L 段; A'_L 段处于低可容空间,顶界面为基准面上升,下降完全不能保存面(相当于完全冲刷面)。

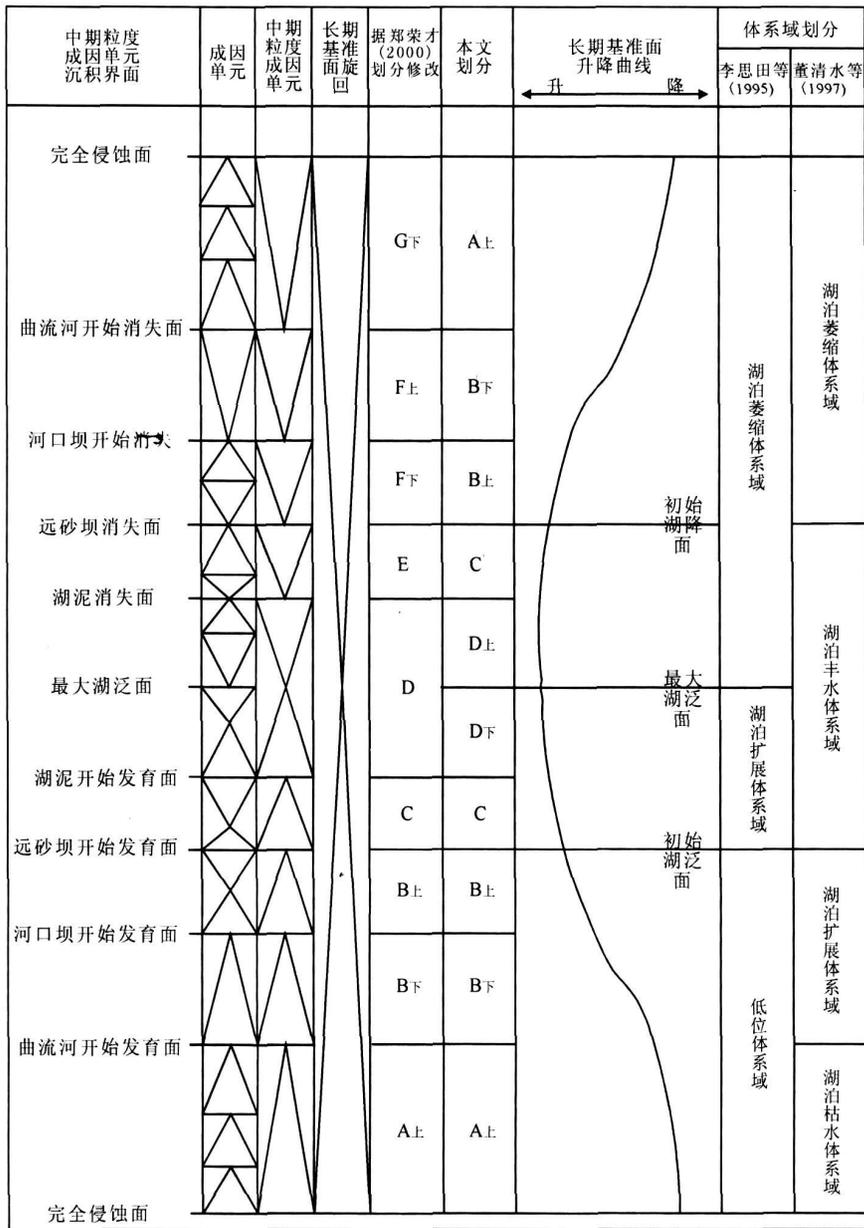


图 2 理想状态下长期基准面旋回概念模式图

Fig 2 The conception mode of long-term base-level cycle sequence under ideal condition

可能正是由于长期基准面旋回内的这种规律性,使得一定情况下测井曲线上识别的所谓“沉积相”(往往是不同级别的基准面变化)研究基准面变化成为可能。即在测井曲线上所反映的基准面变化,往往表现为沉积相组合宏观的粒度变化,但实际在测井曲线识别沉积相时往往把它理解为某一沉积相的粒度韵律变化,并进一步用所识别的沉积相组合解释基准面旋回变化,在实际应用中似乎取得了较好的效果,而又因为意识到测井曲线上所反映的沉积相的粒度韵律变化很可能是基准面变化,又尽量避免使用这一

方法。

基准面旋回中 A/S 值的变化本质上决定着沉积物的叠加样式和体积分配,因此 A/S 值的定量研究就显得极为重要,为此中国地质大学(北京)的古莉提出了沉积物体积分配系数的概念^[23]。应用瓦尔特相律,在理想状态下长期基准面旋回概念模式内,对沉积物体积分配系数与 A/S 比值相比较,认为两者应吻合。

最后本文将所建立的理想状态下长期基准面旋回概念模式与层序地层学相比较^[24, 25],认为长期基

准面旋回初始洪泛面为 B_{\pm} 段顶部, 最大洪泛面为 D_{\pm} 段顶部, 初始洪泛面为 C' 段顶部。其中李思田等^[25]以初始湖泛面 (B_{\pm} 段顶部), 最大洪泛面 (D_{\pm} 段顶部) 将一个长期基准面旋回三分化, 即湖泊低位体系域 (LST), 湖泊扩展体系域 (EST), 湖泊萎缩体系域 (RST); 而董清水等^[24]所划分的四分体系域与李思田这种三分体系域划分的区别, 可能是将 A_{\pm} 段顶部作为最原始的湖泛面, 以 C' 段顶部作为初始洪泛面, 从而将李思田等^[25]所划分的低位体系域 (LST) 两分化, 即湖泊枯水体系域 (LDST)、湖泊扩展体系域 (LEST), 初始洪泛面之上划分为湖泊湖泊丰水体系域 (LFST) 和湖泊萎缩体系域 (LWST)。

前人一般认为, 在一个长期基准面旋回中往往只能保存初始湖泛面之下的沉积, 有的只能保存最大洪泛面之下的沉积。

4 柴窝堡盆地芦苇沟组高分辨率层序

地层格架的建立

以测井资料为基础, 同时结合岩心、地震资料, 应用粒度成因单元的概念和研究方法, 探索性地建立了柴窝堡盆地中二叠统芦苇沟组高分辨率层序地层格架, 并与本文所建立的长期基准面旋回概念模式对比, 划分出了 2 个长期基准面旋回, 6 个中期粒度成因单元, 以及和体系域相似的 5 个层段^[26] (图 3 4), 为该区进一步油气勘探提供了基础资料, 同时也为叠合改造型盆地的高分辨率层序地层研究提供了基础资料。

由于整个二叠纪时限仅仅 40 Ma, 又鉴于层序地层的理论已广泛应用, 在综合考虑不同级别方案的基础上, 本文以 Van Wagoner 和 Mitchum 的理论为指导, 结合笔者对柴窝堡盆地中二叠统芦苇沟组的实际工作, 限于目前研究的状况对粒度成因单元级次进行了探索性的划分^[18 27] (表 3)。

表 2 理想状态下长期基准面旋回概念模式解释

Table 2 Explanation of the conception mode of long-term base-level cycle sequence under ideal condition

层序地层划分方案	长期基准面旋回阶段划分		中期粒度成因单元界面		成因单元基准面旋回				中期粒度成因单元类型	体积分配系数	A/S	
	李恩田等 (1995)	董清水等 (1997)	据郑荣才等 (2000) 修改	本文	理论界面	沉积相界面	向上变深的阶段	向上变浅的阶段				
						有/无	沉积物保存程度	有/无	沉积物保存程度			
		G 上	A' 下			无	无	无	无	0	0	
湖泊萎缩体系域 (LWST)	湖泊萎缩体系域 (LWST)	G 下	A' 上		顶部为完全侵蚀面	有	部分	无	无	向上变浅	0	0
		F 上	B' 下	顶部位于基准面上	顶部为曲流河开始消失面	有	全	无	无	向上变浅	0	0
湖泊萎缩体系域 (RST)	湖泊萎缩体系域 (RST)	F 下	B' 上		顶部为河口坝开始消失面	为主	全	有	部分	向上变浅	$0 < \rightarrow < 1$	$0 < \rightarrow < 1$
		E 上 (C)	C'	顶部为初始洪泛面	顶部为远砂坝消失面	对称型	全	对称型	全	向上变浅	≈ 1	≈ 1
湖泊丰水体系域 (LFST)	湖泊丰水体系域 (LFST)	E 下 (D)	D 上		顶部为湖泥消失面	有	全	为主	全	向上变浅	无穷大 ~ 1	无穷大 ~ 1
		D	D 下	顶部为最大洪泛面	顶部假定为凝缩段中心	有	全	为主	全	向上变深	1 ~ 无穷大	1 ~ 无穷大
湖泊扩展体系域 (EST)	湖泊扩展体系域 (EST)	C	C		顶部为湖泥开始发育面	对称型	全	对称型	全	向上变深	≈ 1	≈ 1
		B 上	B 上	顶部为初始洪泛面	顶部为远砂坝开始发育面	为主	全	有	部分	向上变深	$0 < \rightarrow < 1$	$0 < \rightarrow < 1$
湖泊扩展体系域 (LEST)	湖泊扩展体系域 (LEST)	B 下	B 下		顶部为河口坝开始发育面	有	全	无	无	向上变深	0	0
		A 上	A 上	顶部位于基准面上	顶部为曲流河开始发育面	有	部分	无	无	向上变深	0	0
低位体系域 (LST)	湖泊枯水体系域 (LDST)	A 下	A 下		顶部为沉积物能够保存面	无	无	无	无	0	0	

表 3 粒度成因单元级别与层序级别, 基准面旋回级别对应关系 (参考王嗣敏等, 2001)

Table 3 The relationship of the scale of grain-size genetic unit sequence, base-level cycle sequence

层序级别 (Van Wagoner 1990)	时限范围 /Ma	高分辨率层序地层分级	粒度成因单元级别	基准面旋回级别 (据郑荣才等, 2001)
超层序	200	一级层序	长期粒度成因单元组合	超长期
层序	10~ 50	二级层序	中期粒度成因单元组合	长期
准层序组 (相当体系域)	0.5~ 5	三级层序	短期粒度成因单元组合	中期
准层序	0.1~ 0.5	四级层序	(粒度) 成因单元组合	短期
-	数百 ~ 0.05	五级层序		超短期

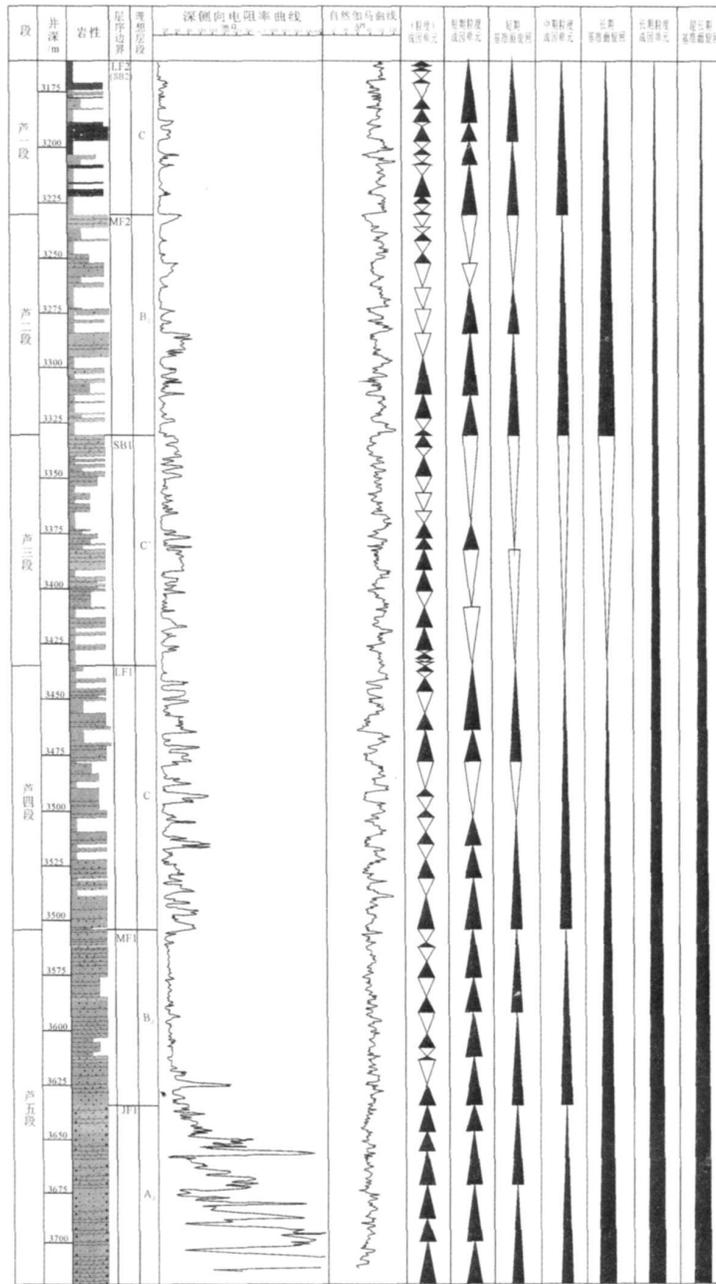


图 3 柴参 1 侧 1 井芦草沟组高分辨率层序地层划分

Fig 3 High-resolution sequence stratigraphy for Loucaogou Formation of Middle Permian which belonged to Well Chaican-1-C1

5 粒度成因单元研究存在的问题及展望

文中所做的创新性工作重点是对郑荣才教授的中期基准面旋回标准模式的修改和利用粒度成因单元对基准面旋回的划分问题。笔者先后请教了 Yang W、刘铁兵、陈代钊、焦养泉、郑荣才等教授,最终建立了理想状态下长期基准面旋回的概念模式。

该方法应用的前提条件是在一个理想的状态下,

但在实际的工作中这种基准面变化的理想的状态,不可能是完全存在的,这就使得粒度成因单元进行基准面旋回级次划分中存在很多不确定因素。因此利用此方法划分基准面旋回的级别时,一定要对划分之后的结果进行反复的研究,并进行反复的修改,方能较好地为生产服务。这是一个很复杂,工作量很大的过程,且仍具有一定的主观因素,但其理论核心是 Cross 理论基础上的高一级别基准面变化对次一级别基准面变化的控制,使得在划分基准面旋回时仍能具有一

定的指导作用。

本文受到了郑荣才教授的高度评价,认为这是对高分辨率层序地层学理论体系的补充。该概念及方法的提出,将在今后的研究和应用中进一步验证和修改,并期望引发对高分辨率层序地层学乃至层序地层学理论体系和应用的深入探讨。

参考文献 (References)

- 1 聂逢君. 层序地层学的起源及发展 [J]. 铀矿地质, 2001, 17(4): 193-202 [Nie Fengjun. Origin and development of sequence stratigraphy [J]. Uranium Geology, 2001, 17(4): 193-202]
- 2 汪彦, 彭军, 游李伟, 等. 中国高分辨率层序地层学的研究现状 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 352-358 [Wang Yan Peng Jun, You Liwei et al. Resolution sequence stratigraphy in China [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 16(3): 352-358]
- 3 孟万斌. 从层序地层学到高分辨率层序地层学 [J]. 成都理工大学学报, 2000, 29(4): 380-385 [Meng Wanbin. From sequence stratigraphy to high resolution sequence stratigraphy [J]. Journal of Chengdu University of Technology Science & Technology Edition, 2000, 29(4): 380-385]
- 4 赵国连. 层序地层学的研究现状 [J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(3): 97-104 [Zhao Guolian. The current situation of sequence stratigraphy [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000, 20(3): 97-104]
- 5 覃建雄. 层序地层学发展的若干重要方向 [J]. 岩相古地理, 1997, 17(2): 63-70 [Tan Jianxiong. Some important orientations of sequence stratigraphy [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1997, 17(2): 63-70]
- 6 付志方, 王焕弟, 邢卫新, 等. 层序地层学研究现状及进展 [J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(5): 320-325 [Fu Zhifang Wang Huandji Xing Weixin et al. Review of sequence stratigraphy [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2005, 28(5): 320-325]
- 7 朱筱敏. 层序地层学 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2000: 147-157 [Zhu Xiaomin. Sequence Stratigraphy [M]. Dongying Shandong Petroleum University Press, 2000: 147-157]
- 8 纪有亮, 张世奇, 张宏, 等. 层序地层学原理及层序成因机制模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1997 [Ji Youliang Zhang Shiqi Zhang Hong et al. High-Resolution Sequence Stratigraphic Theory and Method of Formation [M]. Beijing Geological Publishing House, 1997]
- 9 梅志超, 等. 层序地层学 [M]. 西安: 西北大学出版社, 1993 [Mei Zhichao et al. Sequence Stratigraphy [M]. Xi'an: Northwest University Publishing House, 1993]
- 10 蔡希源, 宋国奇, 等. 陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础方法与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 2004: 225-296 [Cai Xiuyan Song Guoqi et al. High Accuracy Sequence Stratigraphy of Continental Basin: subtle traps exploration and its theoretical basis and method and technology of application [M]. Beijing Geological Publishing House, 2004: 225-296]
- 11 沈平平, 等. 现代油藏描述新方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-58 [Shen Pingping et al. New Method of Modern Reservoir Description [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2003: 1-58]
- 12 Timothy A Cross. 高分辨率层序地层学——原理及应用 [M]. 邓宏文, 王红亮, 祝永军, 译. 北京: 地质出版社, 2002: 1-26 [Timothy A Cross. High Resolution Sequence Stratigraphy and Its Principle and Application [M]. Translated by Deng Hongwen, Wang Hongliang Zhu Yongjun. Beijing Geological Publishing House, 2002: 1-26]
- 13 池秋鄂. 层序地层学成就与面临的挑战 [J]. 世界石油工业, 1996, 3(4): 5-6 [Chi Qi'e. Achievements and challenges of sequence stratigraphy [J]. World Petroleum Industry, 1996, 3(4): 5-6]
- 14 刘波. 基准面旋回与沉积旋回的对比方法探讨 [J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 108-116 [Liu Bo. Discussion on the correlation methods of base-level cycle and sedimentary cycle sequence [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 108-116]
- 15 李江涛, 李增学, 郭建斌, 等. 高分辨率层序地层分析中基准面变化的讨论 [J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 298-302 [Li Jiangtao Li Zengxue Guo Jianbin et al. Discussion about base-level changes in the analysis of high-resolution sequence stratigraphy [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 298-302]
- 16 刘豪, 王英民, 王媛. 地层基准面研究概述 [J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 98-103 [Liu Hao Wang Yingmin Wang Yuan et al. Stratigraphic base level: an overview [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(2): 98-103]
- 17 王嗣敏, 刘招君. 基准面与可容空间变化分析及应用 [J]. 世界地质, 2001, 20(1): 1-7 [Wang Simin Liu Zhaojun. The analysis of base-level and accommodation space change and its application [J]. Global Geology, 2001, 20(1): 1-7]
- 18 王嗣敏, 刘招君. 高分辨率层序地层学在陆相地层研究中若干问题的讨论 [J]. 地层学杂志, 2004, 28(2): 179-184 [Wang Simin, Liu Zhaojun. Discussion on some problems of high resolution sequence stratigraphy in the study of continental stratigraphy [J]. Journal of Stratigraphy, 2004, 28(2): 179-184]
- 19 梅冥相, 高金汉. 岩石地层的相分析方法与原理 [M]. 北京: 地质出版社, 2005: 100-108-116 [Mei Mingxiang Gao Jinhua. The Method and Principle of Analysis of Lithostratigraphy's Sedimentary Facies [M]. Beijing Geological Publishing House, 2005: 100, 108-116]
- 20 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-254 [Zheng Rongcai Peng Jun Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-254]
- 21 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369-375 [Zheng Rongcai Yin Shimin Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369-375]
- 22 Posamentier H W, Vail P R. Eustatic controls on elastic deposition ②: Sequence and systems tract models [C] // Wilgus C K, ed. Sea-level changes: An integrated approach. SEPM Special Publication, 1988, 42: 125-154
- 23 古莉. 高分辨率层序地层学在开发早期储层描述与建模中的应用

- 用——以红台—疙瘩台油气田为例 [D]. 中国地质大学 (北京), 2005: 24-25 [Gu Li Application of high resolution sequence stratigraphy into early stage of development in Hongtaigedatai oil and gas field Tuha Basin [D]. China University of Geosciences (Beijing), 2005: 24-25]
- 24 董清水, 崔宝琛, 李想, 等. 陆相层序地层划分及岩心、测井高分辨率层序地层界面识别 [J]. 石油实验地质, 1997, 19(2): 121-126 [Dong Qingshui Cui Baochen Li Xiang *et al* A division of continental sequence stratigraphy and the identification of its interface with high resolution core analyses and well-logging [J]. Petroleum Geology and Experiment 1997, 19(2): 121-126]
- 25 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例 [J]. 地学前缘, 1995, 2(4): 133-136 [Li Si Tian, Lin Changsong Xie Xiong *et al* Approaches of non-marine sequence stratigraphy a case study on the Mesozoic Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers 1995, 2(4): 133-136]
- 26 郑庆华. 柴窝堡盆地中二叠统芦草沟组高分辨率层序地层与储层非均质性研究 [硕士论文]. 西北大学, 2007 [Zheng Qinghua Study on high resolution sequence stratigraphy and reservoir heterogeneity of Loucaogou Formation of Middle Permian in Chaiwopu Basin [Master Thesis]. Northwest University, 2007]
- 27 王丹. 新疆博格达山南缘上二叠统精细层序地层学研究 [硕士论文]. 西北大学, 2006 [Wang Dan Detailed sequence stratigraphy study of Upper Permian at Southern Bogda Mountains in Xinjiang [Master Thesis]. Northwest University, 2006]

Application of Grain-size Genetic Unit to the Division of Base-level Cycles in High-resolution Isochronous Sequence

ZHENG Qing-hua¹ LIU Yi-qun¹ ZHANG Hai-jun³ LI Shou-wu²
ZHU Jing-ming² MA Hong-xing²

(1 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069; 2 The Fifth Oil Plant of Changqing Oil Field Company, Xi'an 710069; 3 Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract On the basis of the hypothesis of PAC which was presented by Goodwin and Anderson in 1985, considering the division of base-level cycles was extremely indefinite, this paper attached the autocyclic and allocyclic to the concepts of base-level cycle. The concept of the grain-size genetic unit and its research methods were put forward and applied to establish high-resolution isochronous sequence framework of Loucaogou Formation of Middle Permian in Chaiwopu basin. There totally 2 long base-level cycle sequence, 6 middle-term grain-size genetic units, 5 members which similar to 5 system tracts, were distinguished from Loucaogou Formation of Middle Permian in Chaiwopu basin.

Key words Chaiwopu basin, Loucaogou Formation of Middle Permian, high resolution sequence stratigraphy, grain-size genetic unit